

теплообменниках и теплогенераторах в качестве тепло- или хладоносителя (рис. 4) [6].

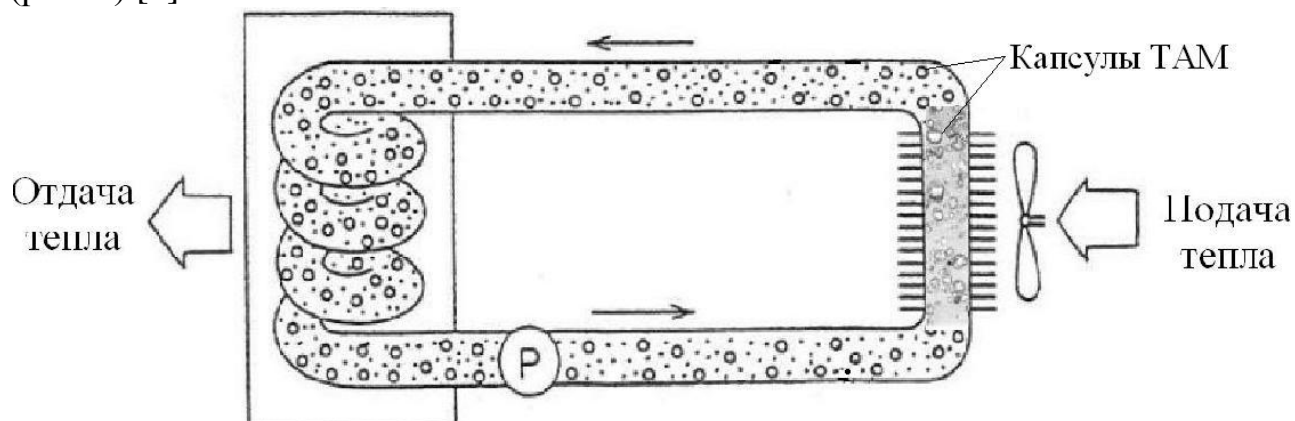


Рис. 4. Хладоноситель ТАМ-жидкость в системе охлаждения

Библиографический список

1. Коринчевская Т.В. Теплоаккумулирующие материалы с фазовым переходом. Институт технической теплофизики НАН Украины. Киев, 2008.
2. Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Streicher (Projektleitung), DI (FH) Andreas Heinz, Dr. Peter Puschnig, Dr. Hermann Schranzhofer, DI Georg Eisl, Dr. Richard Heimrath Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Dr. Gernot Wallner Polymer Competence Center Leoben GmbH, Dr. Harald Schobermayr, Dr. Harald Schobermayr Kunststofftechnik. Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringern durch verringertes Takten. Graz, Oktober 2006.
3. H. Bludau, N. Schubert. Phase Change Materials – PCM. Technische Universität Dresden, Mai 2009.
4. Данилин В.Н., Шабалина С.Г. Теплоаккумулирующие материалы на основе высокомолекулярных соединений / Кубанский гос. технолог. ун-т, кафедра «Физическая и коллоидная химия».
5. D. Müller. Forschungsaktivitäten PCM in der TGA. LowEx – Symposium 2009, Kassel.
6. Stefan Gschwander, Peter Schossig, Hans–Martin Hennig. PC–Slurries: Anwendungen bei der Speicherung und dem Transport von Wärme und Kälte. Institut Solare Energiesysteme. Fraunhofer.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Касимов Р. З., Попов Д. Н., Диденко В. Н.

*Ижевский государственный технический университет
tguug@istu.ru*

Несмотря на широкое применение теплоаккумулирующих материалов (ТАМ), отсутствуют четкие методы расчета и проектирования объектов, использующих их в качестве рабочих тел. Для моделирования процессов плавления (кристаллизации) чистых веществ широко используется классическая задача Стефана [1], которая характеризуется заданием постоянной температуры или теплового потока на границе фазового перехода. Однако она не учитывает изменение теплофизических характеристик материала в зависимости от температуры в твердой и жидкой фазах, наличие области двухфазного состояния и

фиксированной границы расчетной области, когда ТАМ содержится внутри капсулы.

В разработанной авторами методике расчета фазовых переходов ТАМ размещается в капсуле, имеющей твердую теплопроводную оболочку (рис. 1). С учетом переменных теплофизических характеристик материала оболочки, жидкой и твердой фазы ТАМ, двухфазной области между ними уравнение теплопроводности записывается в виде

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 k \frac{\partial T}{\partial r}), \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; T – температура, К; τ – время процесса плавления (кристаллизации), с; k – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); r – радиус, м.

$$\text{Г.У.: при } r=r_0 \quad \alpha(T_{ep}-T_i)=-k_o(\frac{\partial T}{\partial r}), \text{ при } r=0 \quad \frac{dT}{dr}=0$$

где r_0 – радиус капсулы, м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); T_{ep} – температура на границе оболочки капсулы и окружающей среды, К; T_i – температура ТАМ в i -той точке, К; k_o – коэффициент теплопроводности оболочки, Вт/(м·К).



Рис. 1. Схема капсулы, заполненной ТАМ

Зона двухфазного состояния ТАМ фиксировалась следующим образом. Достижение расчетным слоем температуры фазового перехода считается началом плавления (кристаллизации). Температура в дальнейшем для него принимается неизменной до тех пор, пока доля расплавленной части материала

$$X_i = \frac{Q_i}{\lambda m_i} \quad (2)$$

не окажется равной 1 (или 0 при кристаллизации).

Здесь Q_i – количество теплоты в i -ой точке, полученное за время фазового перехода, Вт; λ – теплота фазового перехода, Дж/кг;

$$Q_i = Q_i \pm \Delta Q,$$

где ΔQ – приращение теплоты за время фазового перехода, Вт

$$\Delta Q = q_i S_\delta \Delta \tau,$$

где q_i – тепловой поток, необходимый для фазового перехода, Вт

$$q_i = k_{i+1}(T_{i+1} - T_i) - k_{i-1}(T_{i-1} - T_i),$$

где S_δ – площадь слоя ТАМ, м^2

$$S_\delta = \pi(r_{i+1} + r_i)^2,$$

где m_i – масса ТАМ в i -ой точке, кг

$$m_i = 4/3\pi\rho(r_{i+1}^3 - r_i^3).$$

В зоне фазовых переходов теплофизические характеристики зависят от температуры и степени превращения X :

– удельная теплоемкость вещества:

$$c_x = c_{жс}X + c_m(1 - X),$$

где $c_{жс}$ и c_δ – удельные теплоемкости вещества в жидком и твердом агрегатном состоянии соответственно, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$;

– удельный объем вещества:

$$\nu_x = \nu_{жс}X + \nu_m(1 - X),$$

где $\nu_{жс}$ и ν_m – удельные объемы вещества в жидком и твердом агрегатном состоянии соответственно, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$;

– коэффициент теплопроводности вещества, который принимается по аналогии с эквивалентной теплопроводностью:

$$k_x = k_{эжв} = \frac{1}{\frac{X}{k_{жс}} + \frac{1-X}{k_m}},$$

где $k_{жс}$ и k_δ – коэффициенты теплопроводности вещества в жидком и твердом состоянии соответственно, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

По представленной выше методике рассчитан процесс изменения фазового состояния ТАМ в капсуле радиусом $r_0 = 0,005 \text{ м}$, имеющую твердую оболочку из полиэтилена низкого давления (ПЭНД).

В качестве ТАМ рассматривается н-парафин $C_{18}H_{38}$ (н-октадекан) с температурой плавления $T^* = 301 \text{ К}$ и теплотой фазового перехода $\lambda = 244000 \text{ Дж/кг}$.

Температура капсулы в начальный момент времени $\tau = 0$ равна $T_0 = 293 \text{ К}$. Учитывалась зависимость теплофизических характеристик н-парафина от температуры [2]. Температура среды равна $T_{сп} = 331 \text{ К}$.

Коэффициент теплоотдачи определяется из критериального уравнения [3]:

$$Nu = 2 + 0,03Pr^{0,33} Re^{0,54} + 0,35Pr^{0,35} Re^{0,58}$$

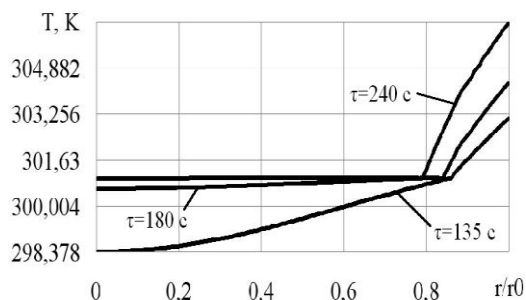


Рис. 2. Изменение температуры при плавлении капсулы

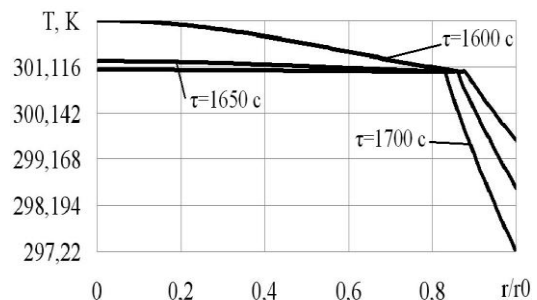


Рис. 3. Изменение температуры при кристаллизации капсулы

На рис. 2 и 3 представлены графики с результатами, полученными при решении задачи плавления (кристаллизации) н-парафина в капсуле из ПЭНД, в определенные моменты времени τ . При повышении (понижении) температуры окружающей среды происходит постепенный нагрев (охлаждение) ТАМ в капсуле. Когда температура ТАМ достигнет температуры фазового перехода t^* , начинается процесс плавления (кристаллизации). Переход от жидкого агрегатного состояния к твердому, или наоборот, проходит в зоне двухфазного состояния, т.е. когда присутствуют оба агрегатных состояния. На рис. 3 и 4 этой области соответствуют горизонтальные участки кривых. Одновременно происходит поглощение (выделение) скрытой теплоты фазового перехода λ . Также видно, что зона двухфазного состояния н-октадекана с увеличением времени растет и стремится к центру капсулы. После того как ТАМ полностью расплавился (закристаллизовался), происходит его дальнейший нагрев (охлаждение). Границы между оболочкой и н-парафином на кривых практически незаметны ввиду незначительной разницы их теплофизических свойств.

Библиографический список

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Варгафтик Н. Б.. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М: Наука, 1972. 720 с.
3. Теплотехника: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2000. 671 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХВАЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГТУ

Кашина О.В., Немытова Д.А., Гулина С.А.
УрФУ

Kt_oeg@mail.ru

В настоящее время конвертированные авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) нашли широкое применение в наземных энергетических установках для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА), так как базовым авиационным ГТД присущие высокая надежность, экономичность и эксплуатационная технологичность, малые габаритные размеры и масса, стабильность потребительских свойств. Перечисленные достоинства авиационных приводов позволяют реально повысить эффективность и экономичность современных ГПА и способствуют совершенствованию структуры компрессорных станций магистральных газопроводов. При этом разнообразные ГПА имеют различные технико-экономические показатели. Для базового авиационного двигателя наземного использования в качестве ГПА, изменяются физические условия на входе в двигатель, параметры номинального режима и вид топлива. В связи с этим анализ влияния технико-экономических показателей на эффективность работы ГПА является актуальной задачей, и необходимо ещё на начальном этапе кон-